

ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖІ ВОГНЕСТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Наведено результати експериментальних досліджень на вогнестійкість будівельних конструкцій. Запропоновано для оцінювання нерівномірності температурного поля в печах, як оцінку якості випробувань, застосовувати розкиди та/або середньоквадратичні відхилення температур, а також їх відповідні інтегральні характеристики

Ключові слова: якість; випробування; вогнестійкість; температура

Постановка проблеми. У світовій практиці в сфері пожежної безпеки для визначення межі вогнестійкості будівельних конструкції застосовується метод випробувань, що наведений у європейському стандарті EN 1363-1:1999 "Fire resistance tests – Part 1: General requirements (Випробування на вогнестійкість. Частина 1: Загальні вимоги), а також у міжнародному стандарті ISO 834-1: 1999 "Fire resistance tests –Elements of building construction – Part 1: General requirements (Випробування на вогнестійкість. Елементи будівельних конструкцій - Частина 1: Загальні вимоги), суть якого полягає у визначенні проміжку часу від початку випробування до настання одного з нормованих для даної конструкції граничних станів з вогнестійкості в умовах стандартного температурного режиму, який має бути створений у вогневій випробувальній печі за залежністю:

$$T_s = 345 \cdot \lg(8 \cdot t + 1) + 20, \quad (1)$$

де t – час, що відрховується від початку випробування, хв;

T_s – температура, яка відповідає часу t , °С.

В стандарті 1363-2:1999 "Fire resistance tests - Part 2: Alternative and additional procedures (Випробування на вогнестійкість. Частина 2: Альтернативні та додаткові процедури) наведено додаткові (альтернативні) температурні режими.

Застосування в будівництві нових матеріалів та технологій при виготовленні будівельних конструкцій вимагає і нових підходів до забезпечення належного рівня якості проведення випробувань щодо визначення показників пожежної небезпеки, а також отримання достовірних їх результатів. Крім того, запровадження постійного контролю якості проведення випробувань з документуванням їх результатів вимагається від випробувальних лабораторій, що акредитуються на відповідність міжнародним вимогам [1]. Особливо це важливо для лабораторій, що проводять випробування та дослідження в сфері пожежної безпеки, а їх результати використовуються під час проектування і реконструкцій об'єктів будівництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні найбільш близьким до зазначеного методу випробувань є метод визначення межі вогнестійкості, наведений у національному стандарті України ДСТУ Б В.1.1-4-98* Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. В цьому стандарті якість проведення випробування забезпечується підтриманням середньої температури у вогневій печі у встановлених межах.

Середня температура в печі T_f , визначається як середнє арифметичне показників термодинамічних параметрів, розміщених у просторі печі та має бути максимально наближена до значень T_s . Допустимі відхилення d середньої температури в печі T_f від стандартних значень T_s за цим стандартом такі:

- а) $\pm 15\%$для $5 < t \leq 10$
 б) $\pm 15 - 0,5 \cdot (t - 10)\%$для $10 < t \leq 30$
 в) $\pm 5 - 0,083 \cdot (t - 30)\%$для $30 < t \leq 60$
 г) $\pm 2,5\%$для $t > 60$

Стандартні допустимі відхилення d розраховують за формулою:

$$d = \frac{T_f - T_s}{T_s} \cdot 100\% \quad (2)$$

Цей метод, також, застосовується для визначення межі вогнестійкості низки будівельних конструкцій, а саме для балок (ДСТУ Б В.1.1-13: 2007), колон (ДСТУ Б В.1.1-14: 2007), а також для вогнезахисних покриттів будівельних несучих металевих конструкцій (ДСТУ Б В.1.1-17: 2007) та інших.

Недоліком зазначеного методу є те, що контроль якості випробувань недостатній, а саме – не контролюється нерівномірність температурного поля, як впливаючого фактора на зразок, в об'ємі вогневої печі. Є тільки вимога, що під час випробувань зразків будівельних конструкцій, що виконані з негорючих матеріалів, на окремих термопарах після 10 хв випробування допускається відхилення температури не більше ніж на 100 °С. Для інших будівельних конструкцій такі відхилення не повинні перевищувати 200 °С. Слід зазначити, що ні міжнародні ні національні нормативні документи не містять способів чи методів для постійного контролю температури у вогневій печі. При цьому різниця температур в 100 °С і більше в печі під час випробувань однорідних зразків будівельної конструкції призводить до встановлення різних меж їх вогнестійкості (різниця може бути десятки хвилин) [2].

Постановка завдання. Було поставлено завдання вдосконалити оцінювання якості проведення випробувань вогнестійкості будівельних конструкцій через запровадження постійного контролю та підтримання на одному рівні якості технологічного процесу проведення випробувань, а саме підтримання на належному рівні рівномірності температурного поля у вогневій печі. Це дозволить порівнювати за певні проміжки часу якість теплової дії на зразок, що випробовується, а відповідно і якість проведення випробувань.

Виклад основного матеріалу. Для виявлення шляхів виконання поставленої задачі було проведено експериментальні дослідження, під час яких випробувались дев'ять однакових зразків будівельних конструкцій в трьох вогневих печах. Забезпечення однорідності зразків вирішувалось з врахуванням результатів досліджень, що наведені в [3]. При цьому визначалась їх межа вогнестійкості за результатами випробувань трьох зразків в кожній печі.

В 1-й вогневій печі випробування проведено в два етапи: 2 зразки одночасно і окремо 1 зразок.

В 2-й вогневій печі випробування проведено в три етапи: по 1-му зразку під час кожного випробування.

В 3-й вогневій печі було проведено випробування 3-х зразків одночасно.

Під час усіх шести випробувань середня температура у вогневих печах відповідала вимогам ДСТУ Б В.1.1-4-98*.

У процесі випробувань проводилися дослідження щодо порівняльної оцінки якості випробування на вогнестійкість за ДСТУ Б В.1.1-4-98* з оцінкою рівномірності температурного поля у вогневих печах. Для цього поряд з контролем середньої температури в печі, яку визначають під час кожного випробування з періодом в одну хвилину за виразом:

$$T_{fj}(t) = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} T_{fij}(t) \quad (3)$$

де n_j – кількість термопар у вогневій печі під час j -го випробування;

$T_{\bar{f}}(t)$ – середня температура у вогневій печі під час j -го випробування в момент часу t ;

$T_{fij}(t)$ – температура визначена i -ю термопарою у вогневій печі під час j -го випробування в момент часу t ,

та контролем відхилення значень середніх температур в печі від номінального стандартного режиму під час кожного випробування з періодом в одну хвилину за залежністю:

$$d_j(t) = \frac{T_{\bar{f}}(t) - T_s(t)}{T_s(t)} \cdot 100\%, \quad (4)$$

де $d_j(t)$ – відхилення середньої температури в печі $T_{\bar{f}}(t)$ під час j -го випробування в момент часу від номінальної температури $T_s(t)$;

$T_s(t)$ – номінальна стандартна температура в печі, яка відповідає часу t ,

визначають розкид температур $R_j(t)$ у вогневій печі за залежністю:

$$R_j(t) = T_{\max j}(t) - T_{\min j}(t), \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (5)$$

де $T_{\max j}(t)$ та $T_{\min j}(t)$ – відповідно максимальна та мінімальна температури у вогневій печі під час j -го випробування в момент часу t ,

та / або середньоквадратичне відхилення температури у вогневих печах в момент часу t часу за залежністю:

$$S_j(t) = \sqrt{\frac{1}{n_j - 1} \cdot \sum_{i=1}^n (T_{\bar{f}}(t) - T_{fij}(t))^2}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (6)$$

де n_j – кількість термопар у вогневій печі під час j -го випробування;

$T_{\bar{f}}(t)$ – середня температура у вогневій печі під час j -го випробування в момент часу t ;

$T_{fij}(t)$ – температура визначена i -ю термопарою у вогневій печі під час j -го випробування в момент часу t .

Крім того, визначались інтегральні суми розкиду ($A_j(R)$) температур у вогневих печах за час від початку випробувань до часу t_{mes} – часу досягнення граничного стану з вогнестійкості за залежністю:

$$A_j(R) = \int_0^{t_{\text{mes}}} R_j(t) dt = \int_0^{t_{\text{mes}}} (T_{\max j}(t) - T_{\min j}(t)) dt, \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{хв}; \quad (7)$$

та / або інтегральні суми середньоквадратичних відхилень ($A_j(S)$) за залежністю:

$$A_j(S) = \int_0^{t_{\text{mes}}} S_j(t) dt = \int_0^{t_{\text{mes}}} \left(\sqrt{\frac{1}{n_j - 1} \cdot \sum_{i=1}^n (T_{\bar{f}}(t) - T_{fij}(t))^2} \right) dt. \quad (8)$$

Проведені дослідження з порівняльної оцінки випробувань в різних лабораторіях [4] показали, що найбільша (найвища) якість Q проведення випробувань досягається за умови найменшого розкиду та/або найменшого середньоквадратичного відхилення параметру, який визначається, тобто:

$$\begin{cases} Q_1 > Q_2 > \dots > Q_n \\ R(t)_1 < R(t)_2 < \dots < R(t)_n \\ A_{R_1} < A_{R_2} < \dots < A_{R_n} \end{cases} \quad (9)$$

та (або):

$$\begin{cases} Q_1 > Q_2 > \dots > Q_n \\ S(t)_1 < S(t)_2 < \dots < S(t)_n \\ A_{S1} < A_{S2} < \dots < A_{Sn} \end{cases} \quad (10)$$

Цей висновок витікає з того, що ідеальним з огляду на рівномірність температурного поля в печі є таке температурне поле у вогневій печі коли відхилення середньої температури від стандартної $d = 0$ і відповідно виконуються умови:

$$\begin{cases} R(t) = 0 \\ A_R = 0 \end{cases} \text{ та (або)} \begin{cases} S(t) = 0 \\ A_S = 0 \end{cases} \quad (11)$$

Отримані результати випробувань та експериментальних досліджень представлено у графічному вигляді на рис. 1-12, а саме:

- на рис.1 наведено залежність розкиду температур протягом всього часу випробування №1 у 1-й вогневій печі;
- на рис.2 наведено залежність розкиду температур протягом всього часу випробування № 2 у 1-й вогневій печі;
- на рис.3 наведено залежність розкиду температур протягом всього часу випробування №1 у 2-й вогневій печі;
- на рис.4 наведено залежність розкиду температур протягом всього часу випробування № 2 у 2-й вогневій печі;
- на рис.5 наведено залежність розкиду температур протягом всього часу випробування № 3 у 2-й вогневій печі;
- на рис.6 наведено залежність розкиду температур протягом всього часу випробування №1 у 3-й вогневій печі;
- на рис.7 наведено залежність середньоквадратичного відхилення температур протягом всього часу випробування №1 у 1-й вогневій печі;
- на рис.8 наведено залежність середньоквадратичного відхилення температур протягом всього часу випробування № 2 у 1-й вогневій печі;
- на рис.9 наведено залежність середньоквадратичного відхилення температур протягом всього часу випробування №1 у 2-й вогневій печі;
- на рис.10 наведено залежність середньоквадратичного відхилення температур протягом всього часу випробування № 2 у 2-й вогневій печі;
- на рис.11 наведено залежність середньоквадратичного відхилення температур протягом всього часу випробування № 3 у 2-й вогневій печі;
- на рис.12 наведено залежність середньоквадратичного відхилення температур протягом всього часу випробування №1 у 3-й вогневій печі.

На рис.1-6 також представлені залежності ($R_{\max}(t)$), що характеризують максимально допустимий розкид температур, встановлений відповідно до методики випробувань, і які розраховуються для моменту часу t за виразом:

$$R_{\max}(t) = T_{\max}(t) - T_{\min}(t), \text{ } ^\circ\text{C} \quad (12)$$

де $T_{\max}(t)$ та $T_{\min}(t)$ – відповідно максимальне та мінімальне допустимі значення середньої температури для моменту часу t , $^\circ\text{C}$.

На рис. 1–6 наведено залежності розкидів температур у вогневих печах протягом всього часу випробувань, де :

- 1 – залежність розкиду температур у вогневій печі під час випробування;
- 2 – максимальний допустимий розкид $R_{\max}(t)$;
- 3 – межа часу неконтрольованої середньої температури,

а на рис. 7–12 наведено залежності середньоквадратичних відхилень температур у вогневих печах протягом випробувань, де:

4 – залежність середньоквадратичного відхилення температур у вогневій печі під час випробування.

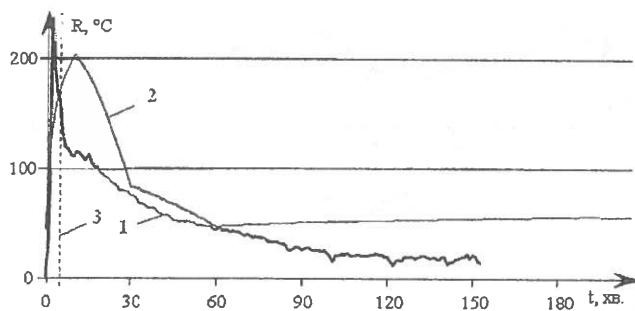


Рис. 1

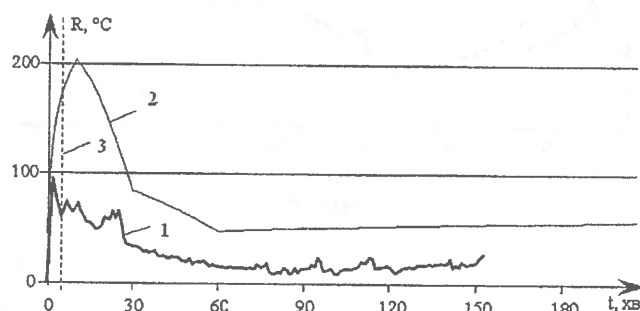


Рис. 2

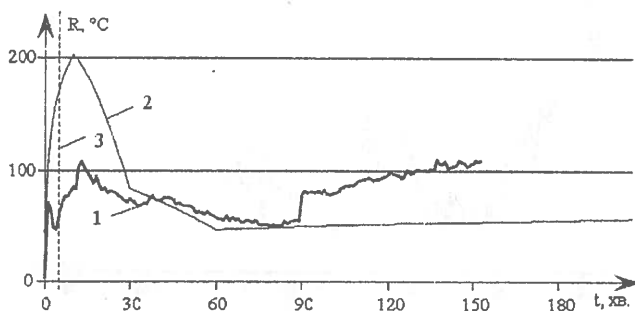


Рис. 3

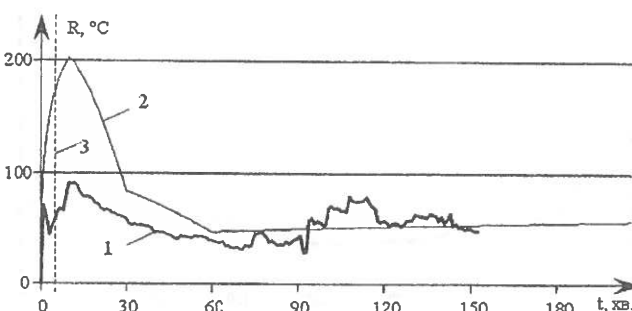


Рис. 4

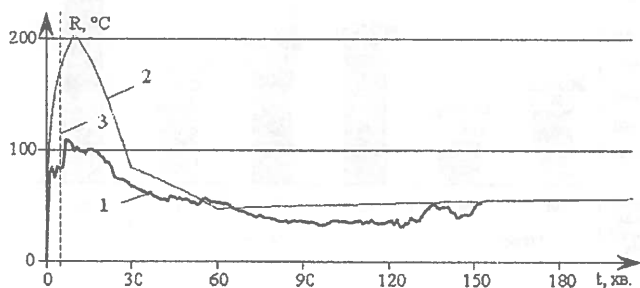


Рис. 5

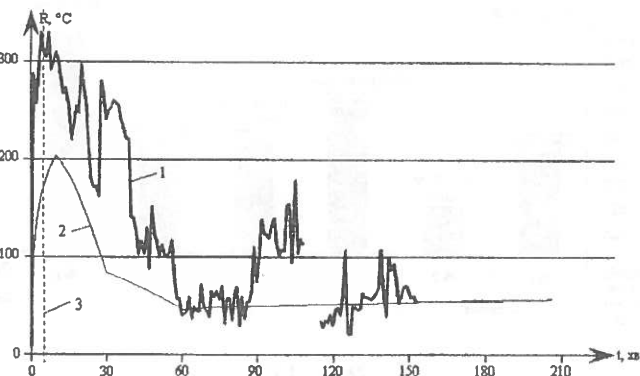


Рис. 6

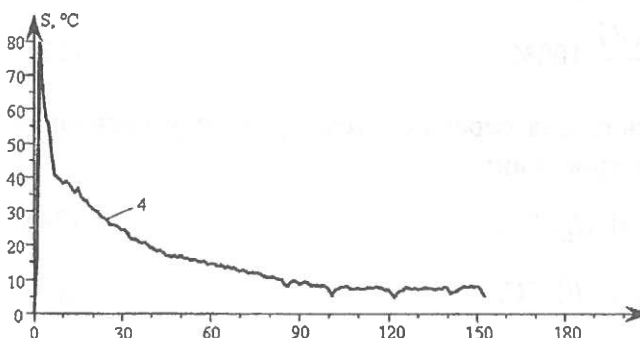


Рис. 7

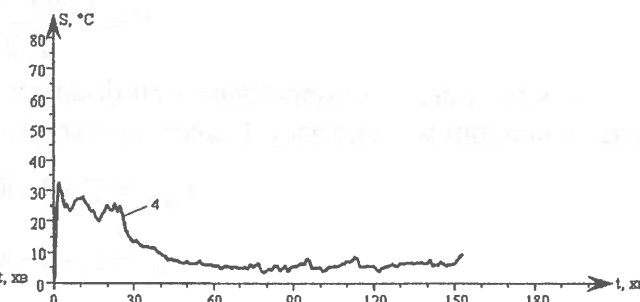


Рис. 8

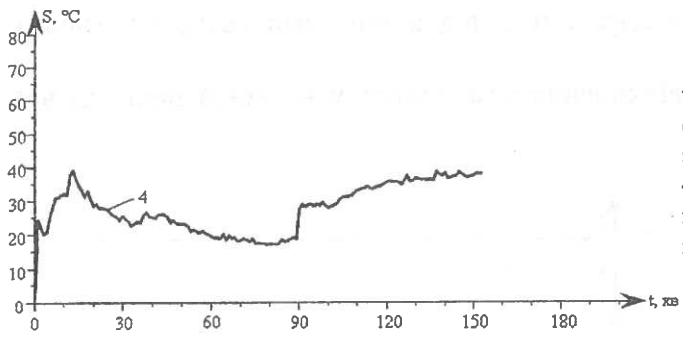


Рис. 9

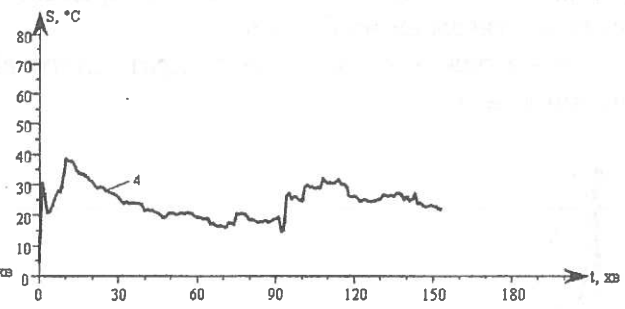


Рис. 10

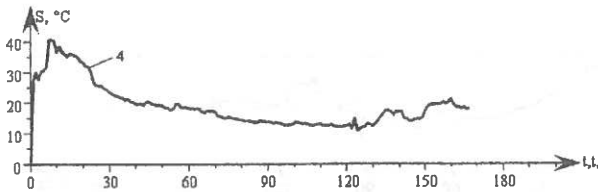


Рис. 11

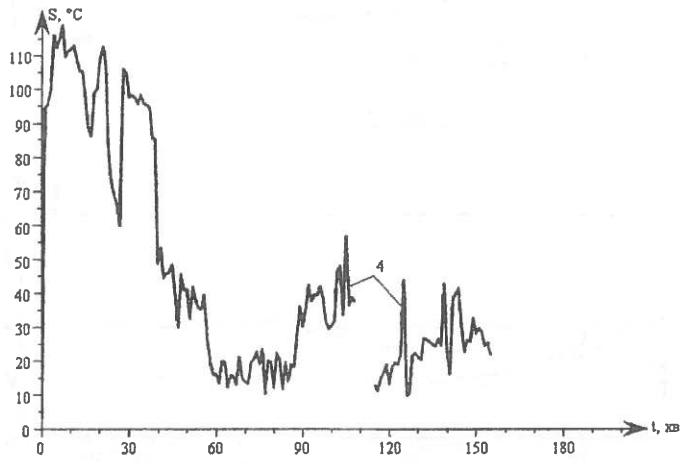


Рис. 12

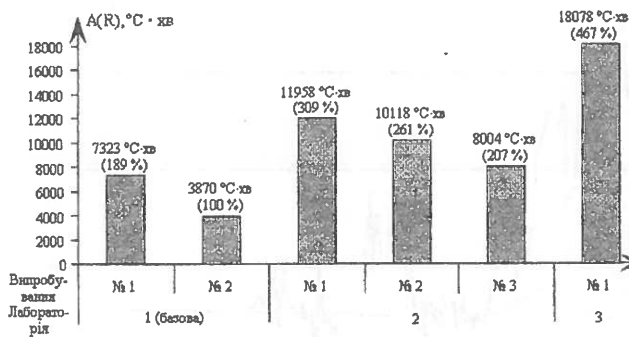


Рис. 13

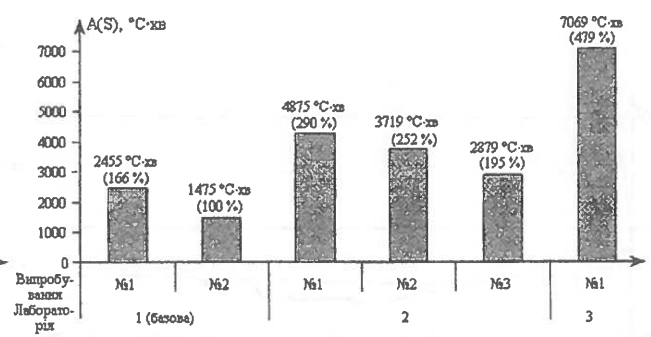


Рис. 14

Стандартні допустимі відхилення $d(t)$ розраховують для моменту часу t за виразом:

$$d(t) = \frac{T_f(t) - T_s(t)}{T_s(t)} \cdot 100\%. \quad (13)$$

Таким чином, максимальне і мінімальне значення середньої температури у вогневих печах в кожний момент часу t визначаються залежностями:

$$T_{\max} = T_s \cdot (1 + |0,01 \cdot d|), \quad ^\circ\text{C}; \quad (14)$$

$$T_{\min} = T_s \cdot (1 - |0,01 \cdot d|), \quad ^\circ\text{C}. \quad (15)$$

Звідси отримаємо, що максимально допустима різниця R_{\max} середніх температур визначається таким чином:

$$R_{\max} = T_{\max} - T_{\min} = T_s \cdot (1 + |0,01 \cdot d|) - T_s \cdot (1 - |0,01 \cdot d|) = T_s \cdot |0,02 \cdot d|, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (16)$$

Далі було застосовано встановлену нами допустиму границю розкидів R_{\max} , як критерій оцінювання якості, для аналізування отриманих експериментальних даних. В результаті аналізування представлених на рис.1-6 залежностей виявлено, що у 2-ій та 3-ій вогневих печах розкиди температур перевищують встановлену нами допустиму границю розкидів (16) ($R_{\max} = T_{\max} - T_{\min} = T_s \cdot |0,02 \cdot d|$).

Навіть у 1-й вогневій печі під час проведення 1-го випробування (рис.1) в перші 5 хвилин, тобто протягом часу, коли допуск на відхилення середньої температури за ДСТУ Б В.1.1-4-98* не нормується, перевищує встановлену нами допустиму границю розкидів.

Ці перевищення можуть бути причиною отримання недостовірних результатів щодо визначення межі вогнестійкості будівельних конструкцій.

Представлені на рис.7-12 дані залежностей середньоквадратичного відхилення S показують, аналогічно розкиду R , характер нерівномірностей температурного поля в печах і, також, підтверджують недостатню якість проведення випробувань у 2-ій та 3-ій вогневих печах.

Комплексною оцінкою нерівномірності температурного поля в вогневих печах можуть бути інтегральні характеристики розкиду $A(R)$ та середньоквадратичного відхилення $A(S)$ значень температур в місцях розташування термопар за весь період випробування.

Враховуючи те, що інтегральні характеристики (7) та (8) залежать від часу випробування, на рис.13 та рис.14 представлені інтегральні характеристики розкиду та середньоквадратичного відхилення відповідно за час, що дорівнює значенню межі вогнестійкості зразків (153 хв), а саме:

$$A_j(R) = \int_0^{153} R_j(t) dt = \int_0^{153} (T_{\max j}(t) - T_{\min j}(t)) dt, \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{хв};$$

$$A_j(S) = \int_0^{153} S_j(t) dt, \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{хв}.$$

Для встановлення взаємозв'язку між інтегральними характеристиками $A(R)$ та $A(S)$, що пропонуються, розраховано значення коефіцієнта кореляції Пірсона [5]. Для $A(R)$ та $A(S)$, що представлені на рис.13 та 14, це значення склало 0,9995, тобто спостерігається сильна пряма кореляція.

Застосувавши зазначені характеристики для оцінювання якості випробувань, результати яких досліджувались, можна стверджувати, що найбільш якісним було випробування № 3 у 2-ій вогневій печі, а найменш якісним – випробування № 1 у 3-ій вогневій печі (рис.13 та 14).

Висновки. Узагальнивши отримані результати, можна зробити висновок, що запропоновані характеристики оцінювання якості проведення випробувань вогнестійкості будівельних конструкцій дозволяють порівнювати якість теплової дії, як впливаючого фактора, на зразок, який випробовується, а відповідно і якість проведення випробувань. Зокрема, якість підтримування температурного режиму у вогневій печі може бути оцінена комплексом характеристик розкиду та середньоквадратичного відхилення температур, що створюються у цих вогневих печах. А застосування інтегральних сум розкидів та середньоквадратичних відхилень температур, крім того, дає можливість виконувати ранжування якості випробувань будівельних конструкцій на вогнестійкість за критерієм рівномірності температурного поля у вогневих печах, а саме - чим менше значення

інтегральної суми розкиду та/або середньоквадратичного відхилення випробування, тим вища якість даного випробування.

Виявлення причин нерівномірності температурного поля у вогневих печах та шляхів його усунення буде предметом подальших досліджень.

Комплексне застосування зазначених характеристик оцінювання якості проведення випробувань вогнестійкості будівельних конструкцій знайшло відображення у відповідному патенті України [6].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. ДСТУ ISO/IEC 17025: 2006 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.
2. Згуря В.І. Удосконалення системи визначення пожежонебезпечних властивостей речовин, матеріалів та будівельних конструкцій: Автореф. дисерт. ... канд. техн. наук / В. І. Згуря. – Київ: УкрНДПБ МНС України, 2007. – 25 с.
3. Володарский Е. Т. Испытания образцов на однородность / Е. Т. Володарский, Д. Л. Лавренова, И. А. Харченко, В. И. Згуря // Науковий вісник: Зб. наук. праць ЛПБ. – Львів, «СПОЛОМ» 2004, – № 4. – С.162 - 168.
4. Харченко І. О. Аналіз результатів міжлабораторних порівняльних випробувань, які отримано при визначенні групи горючості зразків пластифікованої плівки / І. О. Харченко, В. І. Згуря, Л. Л. Запольський // Науковий вісник УкрНДПБ № 1(15). – Київ, 2007. – С. 38 - 51.
5. Смирнов Н. В. Курс теории вероятностей математической статистики для технических приложений / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. – М., 1969.
6. Патент України UA 83783 С2. Спосіб оцінки якості проведення випробувань вогнестійкості будівельних конструкцій / І. О. Харченко, Є. Т. Володарський, В. І. Згуря та інші. - № а200712070; 11.08.2008, Бюл. № 15, 2008.

В.И. Згуря, к. т. н.

ОЦЕНИВАНИЕ КАЧЕСТВА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Приведены результаты экспериментальных исследований на огнестойкость строительных конструкций, которые проводились на девяти одинаковых образцах в трех огневых печах по стандартизированному методу (ДСТУ Б В.1.1-4-98*). Предложено для оценивания неравномерности температурного поля в печах, как оценки качества проведения испытаний, применять разбросы и/или среднеквадратичные отклонения температур, а также их интегральные характеристики.

Ключевые слова: качество; испытание; огнестойкость; температура

V.I. Zgurya, Candidate of Science (Engineering)

ESTIMATION OF QUALITY OF CARRYING OUT OF TEST FOR THE DETERMINATION OF FIRE RESISTANCE RATING OF BUILDING CONSTRUCTIONS

Results of experimental researches for the determination of fire resistance of building constructions are submitted. These have been conducted using nine identical samples and three fire ovens by standard method (DSTU B V.1.1-4-98*). Dispersions and/or standard deviations of temperatures as well as their integral characteristics have been proposed to be used as estimate values of quality of carrying out of the tests.

Key words: Quality; test; fire resistance; temperature